

Detektion von Biomasse mit UWB-Radar

Ertragsbestimmung von Zuckerrüben

Die Detektion von Biomassen in landwirtschaftlichen Böden mit Mikrowellen-Sensoren nach dem Ultra-Breitband (UWB) M-Sequenz-Radarverfahren wird vorgestellt und die Anwendung dieser Radartechnik zur Bestimmung des Ertrages bei Zuckerrüben erläutert. Die Leistungsfähigkeit der Rüben-detektion mit dem Radarverfahren wird diskutiert sowie die Trennung des gesuchten Rübensignals von Bodenreflexionen und anderen Störsignalen behandelt. Zum Verhalten der Rückstreuung elektromagnetischer Wellen an Biomassen werden der Einfluss der Geometrie der Einzelrübe auf die reflektierte Energie und wichtige Schritte der Signalinterpretation dargelegt.

Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze Lammers und Dipl.-Ing. Miodrag Konstantinovic sind am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn, tätig; e-mail: konstant@uni-bonn.de
Dr. Jürgen Sachs und Dipl.-Ing. Sebastian Wöckel sind wissenschaftliche Mitarbeiter des Instituts für Informationstechnik, Fachgebiet Elektronische Messtechnik der Technischen Universität Ilmenau, PSF 100 565, 98684 Ilmenau.

Schlüsselwörter

Ertragskartierung, Biomasse, Zuckerrübe, UWB-Radar, GPR

Keywords

Site-specific yield measuring, biomass, sugar beet, UWB Radar, GPR

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 06408 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Die ökonomischen und ökologischen Rahmenbedingungen in der Landwirtschaft stellen wachsende Ansprüche an die Quantität und Qualität der pflanzenbaulichen Maßnahmen. Die Kartierung der Erntemasse auf einem Feld liefert dem Landwirt essentielle Informationen über den Erfolg seiner pflanzenbaulichen Maßnahmen [1]. Dieses mit dem Begriff des präzisen Landbaus verbundene Vorgehen reduziert die Menge an eingebrachten Pflanzenschutz- und Düngemitteln und fördert einen ökonomischen und nachhaltigen Pflanzenanbau.

Im Falle des Ground Penetrating Radars (GPR) breiten sich die von einer Antenne ausgestrahlten elektromagnetischen Wellen in den oberflächennahen Bodenschichten aus und werden an Grenzschichten und Objekten, die unterschiedliche elektromagnetische Materialeigenschaften haben, reflektiert. Die Eindringtiefe der elektromagnetischen Wellen in natürlichen Böden ist einerseits von der Frequenz und andererseits vom Salz- und Wassergehalt (Leitfähigkeit) abhängig. Da die Auflösung von der Frequenz und die messbare Information maßgeblich von der verwendeten Bandbreite abhängen, arbeitet das hier vorgestellte Verfahren mit einer großen Bandbreite von bis zu 4,5 GHz und der damit verbundenen hohen Auflösung.

Messmethoden

Die Detektion von Biomasse mit UWB-Radar basiert auf der Ausbreitung und Streuung elektromagnetischer Wellen hoher Bandbreite bei sehr geringer Leistung ($\sim 1\text{mW}$ Strahlungsleistung). *Bild 1* verdeutlicht das Messprinzip, bei dem eine oder mehrere Antennen in einem gewissen Abstand zum Boden über die Messobjekte (hier die Rüben) geführt werden. Die ausgesandten Wellen werden auf vielfältige Weise reflektiert und gestreut. Die Aufgabenstellung besteht nun darin, aus den gestreuten Signalen Aussagen über die Messobjekte zu gewinnen.

Im Vergleich zu klassischen Einsatzgebieten der Radartechnik sind Zuckerrüben kleine Objekte, die ein breitbandiges Radarverfahren erfordern, um die nötige geometrische Auflösung und die Eindringtiefe zu erreichen. In unseren Untersuchungen wird

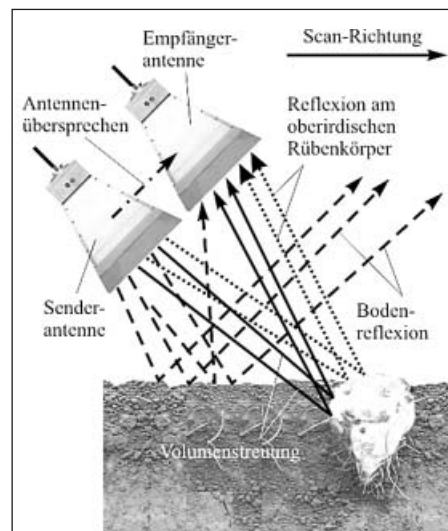


Bild 1: Prinzip der Messwerterfassung mit Bodenreflexion, Reflexion am oberirdischen Rübenkörper, Volumenstreuung und Antennenübersprechen

Fig. 1: Principle of data acquisition with soil backscattering, reflections from the overground part of sugar beet, volume scattering and crosstalk

deshalb mit einem sehr breitbandigen und langzeitstabilen M-Sequenz-Radarverfahren gearbeitet. Das M-Sequenz-Radar ist ein Signalverfahren, das über die Verwendung von Pseudorandomfolgen – so genannten Maximalfolgen (M-Sequenzen) – als Sendesignale eine hohe Bandbreite erzielt. Weiterführende Informationen zum Verfahren können [2] entnommen werden.

Das Ziel der Messung ist, aus den Messdaten die Impulsantwort (IRF) des Streukörpers (Zuckerrübe) zu extrahieren, um daraus die gesuchten Kenngrößen (wie etwa das Volumen) zu bestimmen. Die IRF des Streukörpers ist jedoch durch die IRF der Antennen sowie die Sendesignale maskiert. Die Maskierung durch das Sendesignal versucht man durch die Verwendung einer breitbandigen Radarelektronik zu umgehen.

Weil sich das Testobjekt (Zuckerrübe) in der Grenzfläche zweier Medien (Luft-Boden) befindet, treten neben den bereits erwähnten Verfälschungen der IRF des Streukörpers bei der tatsächlichen Messung noch weitere Störeinflüsse auf. Diese ergeben sich zumeist durch Überlagerungen von Signalen aus unerwünschten Übertragungspfaden. Die folgende Gleichung fasst die wichtigsten davon zusammen:

$$b_{tot}(t) = b_{target}(t) + b_{XT}(t) + b_{sf}(t) + B_{nt}(t) + n(t) + r(t)$$

b_{tot} – gesamtes Messsignal; b_{target} – Streusignal des Messobjektes; b_{XT} – Überkoppeln zwischen den Antennen; b_{sf} – Oberflächenreflexion; b_{nt} – Streusignale von unerwünschten Objekten (Steine, Erdklumpen, Erdlöcher); n – Rauschen, externe Störsignale; r – Mehrfachreflexionen (Antenne-Boden, Antenne-Messobjekt, Messobjekt-Boden). Rückstreusignale, die nicht vom betrachteten Objekt stammen, werden häufig auch als Clutter bezeichnet.

Die Datenauswertungsschritte sind:

1. Aus dem Messsignal b_{tot} das Streusignal b_{target} des Testobjektes zu extrahieren,
2. dieses vom Einfluss der Antennen zu bereinigen, um
3. schließlich aus der gewonnenen IRF des Streuobjektes auf seine geometrischen Eigenschaften zu schließen.

Weitgehend unberücksichtigt bleibt dabei der Einfluss des Rauschens oder anderer Störungen $n(t)$. Durch Mittelungen und experimentelle Sorgfalt können diese meist hinreichend unterdrückt werden. Wie die bisherigen Erfahrungen zeigen, spielt die Streuung an unerwünschten Objekten $b_{nt}(t)$ ebenfalls nur eine untergeordnete Rolle. Da die Messungen mit einem hinreichend großen Antennenabstand zum Boden erfolgen, sind auch die Mehrfachreflexionen $r(t)$ mit den Antennen zu vernachlässigen.

Ergebnisse

Rückstreuverhalten von Zuckerrüben

In der Regel ragt ein Teil des Fruchtkörpers einer Zuckerrübe aus dem Boden. Das resultierende Oberflächenprofil zeigt damit eine kleine Überhöhung, die sich in den Radardaten bemerkbar macht. Durch die Signalverarbeitung werden diese Änderungen hervorgehoben, indem die „normalen“ Bodenreflexionen vom Messsignal eliminiert werden. Diese Methode ist sehr recheneffizient, da nur die rückgestreute Energie für die Rübedetektion betrachtet wird [3]. In den Messdaten wurde die Rückstreueenergie über das Betragsquadrat der Hilbert-Transformation gebildet. Die zeitliche Struktur der reflektierten Signale geht dabei zwangsläufig verloren. Die Detektionszuverlässigkeit dieser einfachen Methode ist jedoch noch verbesserungswürdig.

Aus Simulationen des Rückstreuverhaltens einfacher Körper wie etwa Kugeln ist bekannt, dass sich die Streusignale in Abhängigkeit vom Durchmesser ändern. Sofern eine Mindestgröße überschritten ist, bestimmen prinzipiell auch die Körperform sowie Größe als auch der Einstrahlungs- und Beobachtungswinkel das Streuverhalten. Unter vereinfachten Bedingungen (Wellen-

ausbreitung in Luft) wurde das Rückstreuverhalten von Rüben vermessen. Zum einen zeigte sich die erwartete Größenabhängigkeit als auch der Winkelinfluss. Während die Größenabhängigkeit für die hier betrachtete Problemstellung einen gewünschten Effekt darstellt, verursacht die Winkelabhängigkeit zusätzliche Unsicherheiten. Eine starke Winkelabhängigkeit ist jedoch nur in der Sagittalebene zu beobachten, die im praktischen Einsatzfall keine Rolle spielt.

Detektion von Zuckerrüben

Zur Demonstration des Detektionsalgorithmus wurde ein Messszenario aus vier Zuckerrüben unterschiedlicher Form und Größe mit den Feldbedingungen entsprechenden Wuchstiefen gemäß Bild 2 aufgesetzt. Aus den gemessenen reflektierten Signalen wurde die Rückstreueenergie bestimmt und für jede Position (Entfernung) der jeweilige Einzelscan über der Zeit integriert, um die gesamte rückgestreute Leistung zu berechnen. Betrachtet man diese gesamte rückgestreute Leistung in Abhängigkeit des Weges, ist erkennbar, dass sich die einzelnen Zuckerrüben anhand der Energie, die über einem Schwellwert S liegt, unterscheiden lassen. Die Positionsbestimmung der Rüben und deren Zählung sind so möglich. Beim Vergleich der maximalen Energie an den bestimmten Positionen (A bis D) ist erkennbar, dass die Rückstreueenergie mit der Rübengröße korreliert, aber die Massebestimmung der Einzerrübe bisher nicht möglich war.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Den Messungen zufolge entspricht das Verhalten der Rüben als elektromagnetischer Streukörper den grundsätzlichen Erwartungen. Durch statistische Reihenmessungen könnte nun versucht werden, Korrelationen zwischen der Rübenmasse und bestimmten Signalparametern zu finden. Die besondere Herausforderung besteht aber darin, dass durch die Einbettung der Rüben im Boden die Rückstreuungen zusätzlich maskiert sind und sie außerdem von den Bodenverhältnissen selbst abhängen. Insbesondere betrifft dies den Feuchtegehalt, die Salinität und den Tongehalt. Da die Kenntnis der Ausbreitungseigenschaften der elektromagnetischen Wellen im Boden für die Signalinterpretation von großer Bedeutung ist, sind geeignete Messungen parallel zur Rübenfassung durchzuführen. Diesbezüglich wurde ein neues UWB-Messprinzip eingeführt und die Verwendbarkeit des bestehenden UWB-Radars für Feuchtemessungen getestet [4].

Die Messungen haben ergeben, dass eine Detektion der Rüben durch das Blattwerk hindurch nicht möglich ist. Für eine Datenerfassung während der Ernte ist dies auch

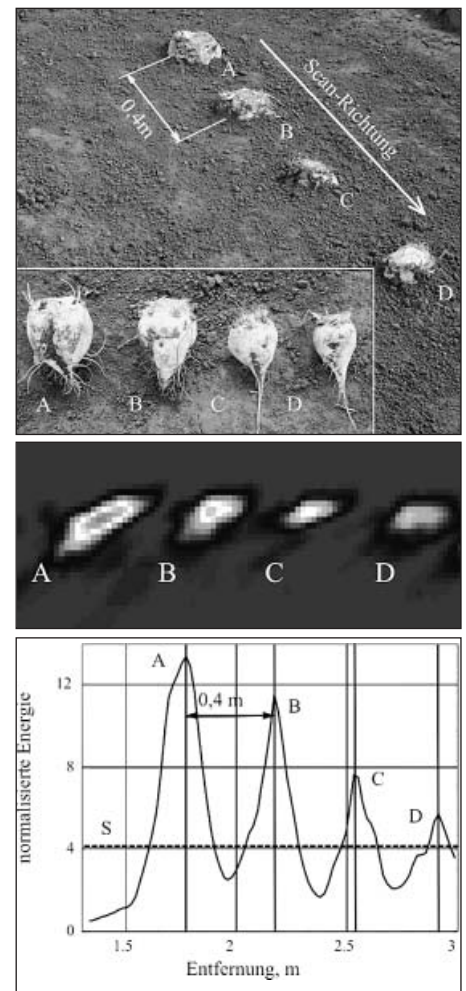


Bild 2: Das Prinzip der Zuckerrübedetektion. Oben: Messszenario mit vier Zuckerrüben. Mitte: Radargramm der Rückstreueenergie. Unten: Vergleich Schwellwert (S) mit der integrierten Energie des Rückstreusignals der einzelnen Zuckerrüben

Fig. 2: Principle of sugar beet detection. Top: measuring scenario with 4 sugar beets. Middle: Radargram of the backscattered energy. Down: Threshold (S) comparison with the integrated energy of backscattered signals of single sugar beets

nicht notwendig, da primär die Ortung der Rübe direkt nach dem Köpfen vor dem Roden erfolgt. Der Einfluss von Blättern, die beim Köpfen auf den Boden fallen, wurde noch nicht untersucht.

Um die Unterscheidung der Einzerrüben und die Bestimmung der Einzerrübenmasse zu ermöglichen, müssen die Streukörper aus den Rückstreudaten klassifiziert werden. Die zukünftigen Arbeiten haben deshalb das Ziel, eine Referenzdatenbank der Radarrückstreuung von Rüben verschiedenster Wachstumsstadien und Größen in drei typischen landwirtschaftlichen Böden unterschiedlicher Feuchte aufzubauen. Auf Grundlage dieser Datenbank wäre es dann möglich, reale auf dem Feld gewonnene Messdaten mit den Klassenmerkmalen in der Datenbank zu vergleichen und eine Klassifizierung der Zuckerrüben hinsichtlich Volumen oder Größe vorzunehmen.